

с поверхности объектов). Неприменимо для рассматриваемой нами задачи вследствие разрушения образца пучком электронов для получения просвечивания.

Изображение формируется тонким пучком, называемым электронным зондом, оббегающим за определенное время заданную площадь поверхности образца. Взаимодействуя с поверхностью образца электроны пучка частично рассеиваются в обратном направлении и одновременно с этим вызывают вторичную эмиссию электронов.

Таким образом, возможно получение структуры исследуемого образца при последовательном разрушении объекта пучком электронов.

Техническая реализация: вторичные и рассеянные объектом электроны регистрируются соответствующими датчиками, а электронная схема прибора преобразует после усиления интенсивность регистрируемых электронов в интенсивность луча электронно-лучевой трубки (рис. 1). Поскольку луч, формирующий изображение на экране этой трубки, отклоняется синхронно с отклонением первичного пучка электронов, на экране возникает светящееся изображение сканируемой площади объекта [3].

### Список литературы

1. Урличич Ю. М., Данилин Н. С. Неразрушающий контроль паяных соединений в радиоэлектронной аппаратуре // Мир измерений. 2010. № 6. С. 4–11.
2. Костюченко В. Акустическая микроскопия: выявление скрытых дефектов в микроэлектронике // Наноиндустрия. 2012. Т. 33, № 3. С. 42–47.
3. Пантелеев В. Г., Егорова О. В., Клыкова Е. И. Компьютерная микроскопия. М. : Техносфера. 2005. Т. 3.

УДК 621.37

А. Р. Мухетдинова, М. О. Дядюра

Научный руководитель: проф. Д. В. Астрецов  
Уральский федеральный университет, Екатеринбург

### СРЫВ СЛЕЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

*Аннотация.* Приведены результаты исследований системы фазовой автоподстройки частоты с учетом и без учета аддитивных помех, сопровождающих эталонный сигнал. Использование метода теории выбросов и метода статистической линеаризации проведен анализ срыва слежения (синхронизации) за заданное время наблюдения от отношения мощностей сигнала и помехи в канале эталонного сигнала. Для получения более точных результатов разработана имитационная

модель системы в пакете динамических систем «Simulink» в среде Matlab, с использованием которой получены основные характеристики системы.

*Ключевые слова:* фазовая автоподстройка частоты; метод теории выбросов; метод статистической линеаризации; срыв слежения.

В современных системах автоматизации, электросвязи, информационной безопасности широко используются различные следящие устройства. Наиболее распространенной следящей системой является система автоподстройки частоты. ФАПЧ — это система автоматического регулирования, которая управляет фазой и частотой управляемого генератора в зависимости от значения фазы эталонного сигнала.

ФАПЧ — универсальная схема, используемая для разнообразных задач, таких как модуляция, синтезирование частот, разделение каналов, частотной синхронизации [1].

В системе ФАПЧ при воздействии разнообразных факторов возникает опасность срыва слежения. Существуют различные методы анализа срыва слежения, среди которых можно выделить метод Таусворта, асимптотические методы [2]. Однако все они имеют одну общую существенную особенность, объясняющую сложность их применения к анализу срыва слежения, — громоздкость решения краевой задачи, которая влечет за собой сложные итоговые уравнения и огромные вычисления.

В рамках данного исследования основной упор сделан на методе теории выбросов и методе статистической линеаризации, не требующих громоздких вычислений. В соответствии с ним срыв слежения отождествляется с пересечением изображающей точки пределов апертуры фазового дискриминатора [3]. Проще говоря, срывом слежения является тот момент, когда система фазовой автоподстройки перестает подстраивать частоту подстраиваемого генератора в соответствии с частотой генератора эталонного. На данном определении основана экспериментальная часть работы по исследованию срыва слежения системой с различными видами фильтров в петеле обратной связи.

Рассмотрим оба метода анализа срыва слежения. В методе теории выбросов наиболее полной и однозначной характеристикой срыва слежения является вероятность срыва слежения  $P(t)$  за определенное, заданное время наблюдения  $t$ . В результате многочисленных вычислений получено выражение для зависимости вероятности срыва слежения от параметров системы.

Суть метода статистической линеаризации состоит в определении критического уровня спектральной плотности мощности шума на выходе дискриминатора. Данный уровень является некой границей, показывая, что при нем вероятность срыва слежения еще очень мала.

Для проведения экспериментальной части методов в подсистеме Matlab Simulink построена модель (рис. 1) исследуемой системы фазовой автоподстройки частоты с разными типами фильтров: с инерционным звеном, с пропорционально-интегрирующим фильтром, с изодромным звеном.

С помощью данной модели проведены эксперименты, в результате которых получены зависимости вероятности срыва слежения от отношения мощностей сигнала и шума.

Экспериментальные исследования требовали проведения в существенного количестве опытов. В системе Matlab реализован код, с помощью которого удалось добиться автоматического выполнения опытов при различных вариантах системы.

С помощью данной модели были измерены полосы захвата и удержания различных конфигураций системы (конфигурации отличаются путем применения в цепи обратной связи различных ФНЧ), и в полученных пределах проанализирован срыв слежения каждой из исследуемых конфигураций системы для метода теории выбросов и метода статических линеаризации.

Для метода теории выбросов экспериментальные исследования показали, что при небольших значениях мощности шума вероятность срыва слежения высока, что вполне ожидаемо. При одном и том же значении мощности шума, с увеличением расстройки сужается диапазон отношения средних значений мощностей сигнала и шума, в котором наблюдается срыв слежения системой ФАПЧ. Таким образом, сделан вывод о прямой зависимости диапазона отношения мощностей сигнала и шума не только от расстройки частот ЭГ и ГУН, а также от значений мощности шума, то есть чем значительнее шум, тем в более узком интервале расстроек частот и небольших мощностях шума может работать система. Также установлено, что наиболее помехоустойчивой системой является ФАПЧ с пропорционально-интегрирующим фильтром в петле обратной связи.

В методе статической линеаризации на основании значений критических значений спектральной плотности мощности шума были сделаны выводы

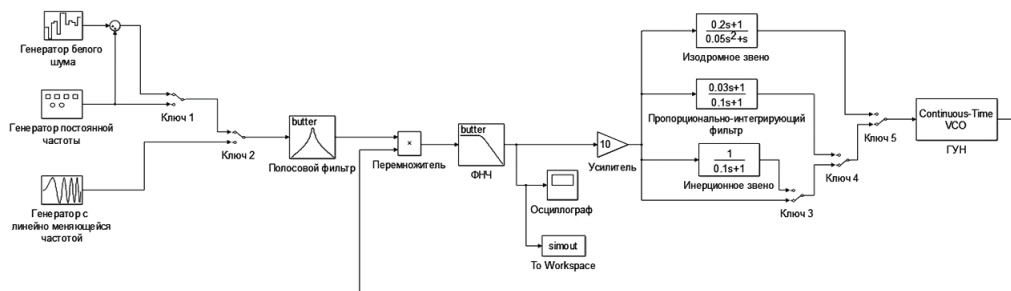


Рис. 1. Схема имитационной модели системы в среде Simulink

о том, что наиболее устойчивой по отношению к помехам является система с пропорционально-интегрирующим фильтром в цепи обратной связи, а наименее устойчивой является система без фильтра в цепи обратной связи.

Таким образом, на основании результатов исследуемых методов система ФАПЧ с пропорционально-интегрирующим фильтром в петле обратной связи является наиболее помехоустойчивой. В пределах полосы захвата при значительных значениях мощности шума вероятность срыва слежения у данного вида системы низка.

### Список литературы

1. Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А. Система фазовой автоподстройки частоты. М. : Связь, 1972. 447 с.
2. Обрезков Г. В., Разевиг В. Д. Методы анализа срыва слежения. М. : Сов. радио, 1972. 240 с.
3. Астрецов Д. В. Следящие радиосистемы : учеб. электрон. издание. Екатеринбург, УрФУ, 2010.

УДК 004.056

Н. А. Остапенко, А. П. Ярьсько

Научный руководитель: канд. тех. наук, доц. А. Н. Соколов  
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

## ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧЕК ПО КАНАЛУ АКУСТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

*Аннотация.* В статье проведен сравнительный анализ актуальных средств защиты информации от утечек по каналу акустоэлектрических преобразований, показана эффективность каждого метода, его достоинства и недостатки. Методика построения защиты условно поделена на два этапа (специальные исследования технических средств и применение средств защиты). Сделан вывод о целесообразности использования рассмотренных технических решений.

*Ключевые слова:* информационная безопасность; защита информации; средства защиты информации; специальные исследования; акустоэлектрические преобразования; генераторы шума.

Утечка информации по каналу акустоэлектрических преобразований — одна из важнейших проблем технической защиты информации. Акустоэлектрическим эффектом обладают многие элементы электронных технических